

電子線によるHDD用磁気ヘッド磁界分布の評価技術 とその応用に関する研究

著者	鈴木 寛
号	52
学位授与番号	2191
URL	http://hdl.handle.net/10097/37730

氏 名	すずき ひろし
授 与 学 位	鈴木 寛
学位授与年月日	博士 (工学)
学位授与の根拠法規	平成19年4月11日
最 終 学 歴	学位規則第4条第2項
学 位 論 文 題 目	平成元年3月
論 文 審 査 委 員	東北大学大学院工学研究科精密工学専攻博士課程前期課程修了
	電子線によるHDD用磁気ヘッド磁界分布の評価技術とその応用
	に関する研究
	主査 東北大学教授 三浦英生 東北大学教授 羽根一博
	東北大学助教授 高 偉

論 文 内 容 要 旨

本論文は、年々高密度化の進む磁気ディスク装置に用いられる磁気ヘッドの記録磁界分布を高分解能で可視化するための要素技術と測定装置システムの開発、および実際に開発している磁気ヘッド評価への適用例について纏めたものである。筆者は先ず従来の電子線トモグラフィ装置の改良によって磁気ヘッドの発生磁界の過渡応答測定を可能にし、ヘッドの記録磁界の時間変化が励磁電流の時間変化に対して遅れる現象を観察した（第3章）。次に、ヘッドの微細化に対応できる新しい磁界測定方式を考案し、原理検証の実験（第4章）、装置開発に必要な要素技術である画像処理技術の開発を行い（第5章）、磁界分布測定装置としての「投射電子線磁界トモグラフィ（PEMT）装置」を開発した（第6章）。この装置により従来法で不可能だった磁気ヘッド表面から50 nm程度の極近傍での磁界測定が可能となった。以下に本論文の各章の要旨を述べる。

第1章では、本研究の背景となる磁気記録の高密度化の推移、電子線を使った一般的な顕微観察技術および装置の状況、磁気ディスク装置用磁気ヘッドの記録磁界測定技術の状況について纏めた。年々進む磁気ディスク装置の高密度化開発を支える計測技術の一つとして、磁気ヘッドの記録磁界分布測定技術があり、特に感度や分解能の点で有利な電子線を使った手法について述べた。

第2章では、電子線による磁界分布測定技術について述べた。まず、筆者が関わった電子線を使った計測技術について述べ、特に磁気の計測に関わる技術について纏めた。さらに後の章で詳述される磁気ヘッドの磁界分布測定技術である電子線トモグラフィについて説明した。電子線トモグラフィは、磁界に対して高感度であり、高空間分解能な磁界測定ができる。さらに電子線をストロボ状にすることにより動作中の磁界分布を観察することができる。この電子線トモグラフィは、筆者の所属したグループによって装置開発が行われ、これを使った解析により磁気ヘッドの研究開発に貢献した。

第3章では、高周波ヘッド記録磁界の測定技術と測定結果について述べた。磁気ヘッド磁界分布測定用電子線トモグラフィ装置の試料ステージと測定の手順に新たな工夫を加え、磁気ヘッドが発生する記録磁界の過渡応答測定を可能にした。試料ステージには、磁気ヘッドの近傍に励磁電流で駆動された偏向器が配置され、磁界分布測定と同一のストロボ電子ビームで励磁電流測定が行われた。これ

により二つの測定の時間基準を一致させて過渡応答測定が実現され、両者の時間合わせ精度 0.1 ns、時間分解能 1 ns を達成した。20 MHz で動作しているパーマロイ薄膜磁気ヘッドを測定した結果、発生磁界反転のタイミングが入力される励磁電流に対して約 3 ns 遅れていることがわかった。また磁界分布の空間位置によって過渡応答特性が異なっていること、遅れの現象は磁極の磁化の飽和に関係していること等がわかった。

第4章では、透過電子顕微鏡を使った新しいヘッド磁界測定法とその原理検証実験について述べた。磁気ヘッドの記録磁界を 10 nm の空間分解能で測定できる新たな手法を考案し、その実現可能性を実験的に検証した。本手法は、透過型電子顕微鏡の電子線の経路途中に磁気ヘッドを配置し、ヘッドの磁界で歪められた参照像を得て、この歪んだ像を画像処理して空間の磁界の情報のみを抽出する手法である。実験の結果、測定の空間分解能 10 nm、磁気ヘッド表面から最も近い測定位置を示す最小スペーシング 10 nm、最小磁界感度 50 Oe μ m が得られる見通しを得た。また、磁気ヘッド磁極表面から 0.1 μ m 離れた位置での磁界強度は、計算機シミュレーションとの比較で、約 8 % の差であった。

第5章では、高分解能画像処理技術の開発について述べた。第4章で提案、検証された新しい磁界測定原理を用いて高空間分解能な磁気ヘッド磁界分布測定装置（投射電子線磁界トモグラフィ、PEMT）を実現するために、これに必要な画像処理手法を提案、検討した。本画像処理は、磁界によって歪んだ参照パターンから空間の磁界の情報のみを抽出するものである。磁界の情報は、コンピュータ・トモグラフィ処理に必要な磁界の投影データである。検討の結果、PEMTに適した磁界の投影データは、磁界中を通過した電子線の偏向角成分であることがわかった。さらに、電子線の偏向角成分の抽出を実現する二つの抽出処理手法を提案、比較検討した結果、トラッキング処理法がハフ変換法に比べ精度、処理時間の点で優れており、PEMTに適している処理法であることがわかった。

第6章では、投射電子線磁界トモグラフィ装置の開発について述べた。筆者は磁気ヘッドの発生する記録磁界の3次元分布を測定する投射電子線磁界トモグラフィ（PEMT）装置を開発した。PEMTの概略を図1に示し、開発した装置の電子線装置部の外観を図2に示す。この装置では、磁気ヘッドの記録磁界でパターンを歪められた参照薄膜の透過電子顕微鏡像から、計算機処理で磁界分布が再構成される。本装置により、日立製磁気ヘッドにおいて、従来の収束電子線を用いる方法では不可能であったヘッド表面から 50nm 以下の極近傍での記録磁界分布の測定が可能となった。観察した磁界分布の例を図2に示す。開発装置を用いて、実際に開発中の磁気ヘッドの記録磁界測定に適用し、ヘッドの特性劣化の原因を突き止めた。また、磁気ヘッド記録磁界測定以外の応用として、磁気力顕微鏡（MFM : Magnetic Force Microscopy）の探針の磁界分布の測定にも成功した。

第7章では、本研究で得られた結論を纏めて述べた。

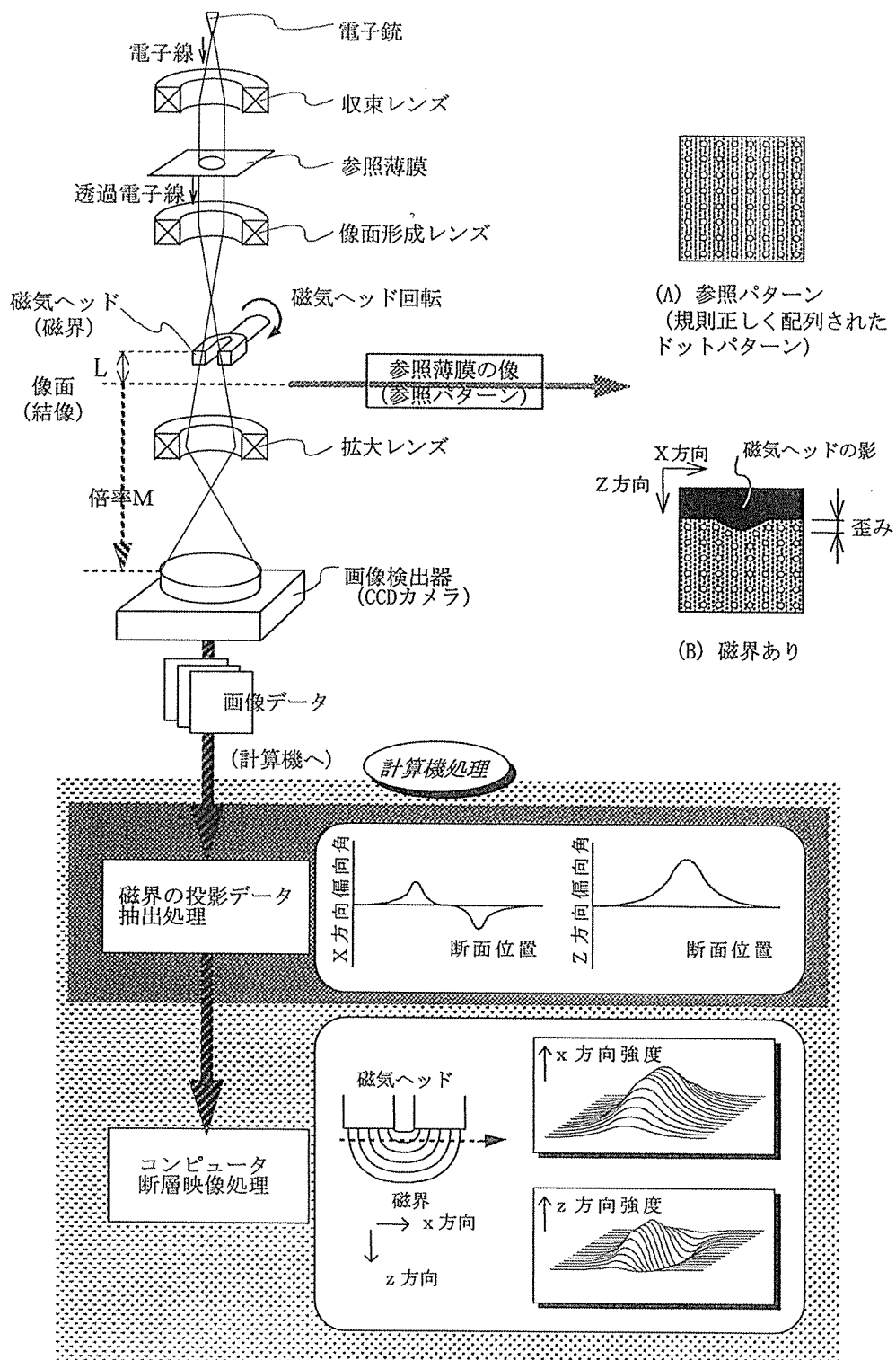


図1 投射電子線磁界トモグラフィ (PEMT) の概略

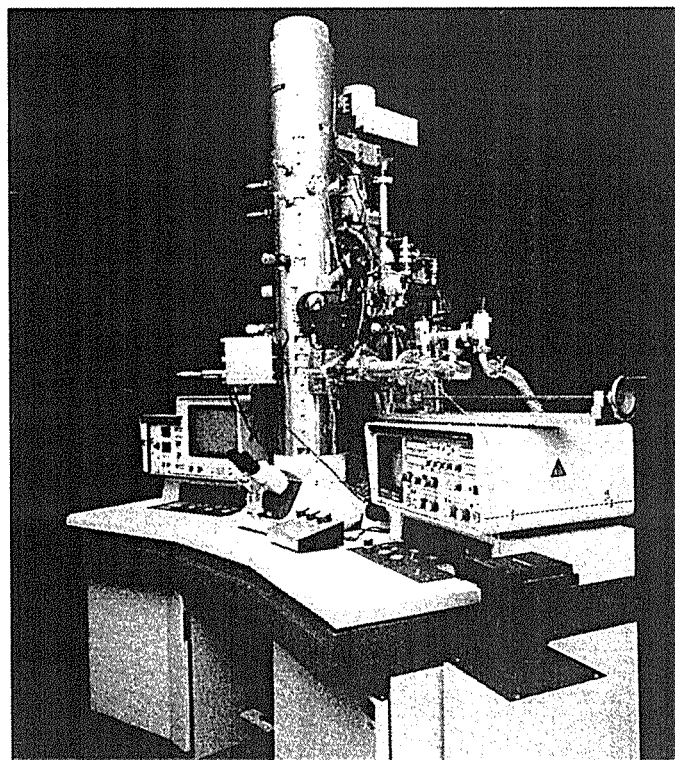


図2 開発した投射電子線磁界トモグラフィ装置の外観

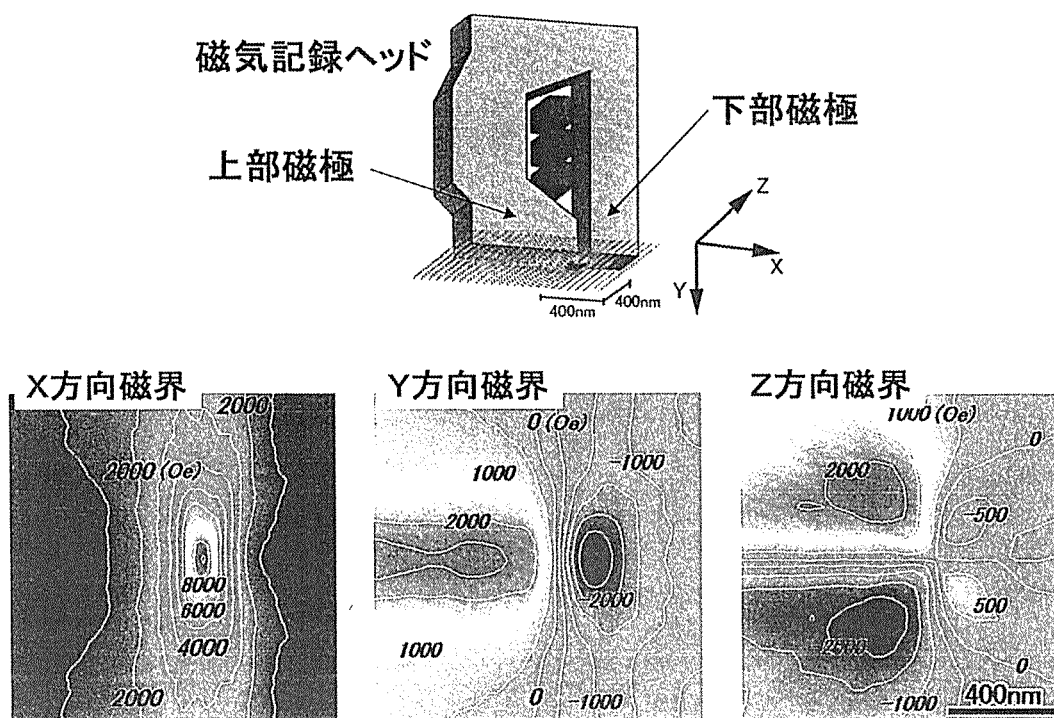


図3 磁気ヘッド磁界分布の測定例

論文審査結果の要旨

21 世紀の高度情報通信社会を支える基盤デバイスとして磁気記録装置は不可欠な存在となっており、大容量情報の記録媒体として記録密度の向上が継続的に図られ、現在では 1 Gb/mm^2 の実現を目指した開発が進められている。このような高密度記録を実現するために、磁気ヘッドと磁気ディスク間距離も数 10 nm となることが予測されており、さらなる高速大容量記録装置の開発では、記録あるいは読み出し過程における磁気ヘッド先端近傍の磁界分布の精密評価が必須課題となっている。このような背景の下、本研究は、磁気記録装置に用いられる磁気ヘッド発生磁界の過渡応答測定を最小空間分解能 10 nm で可能とする投射電子線磁界トモグラフィ装置を開発するとともに、本装置を応用し実製品の磁気ヘッドの性能あるいは信頼性評価へ適用し、高性能磁気ヘッド開発指針を確立したもので全編 7 章からなる。

第 1 章は緒論であり、本研究の目的と意義について述べている。

第 2 章では、電子線による磁界分布測定技術の基本原則について述べている。磁界によるローレンツ力で生じる電子線の偏向を高精度で検出できる電子線トモグラフィ技術において、電子線をストロボ状に分割することで動作中の磁界分布の時間変化を観察できる可能性を提案している。本成果は本研究で開発する投射電子線磁界トモグラフィ装置の基本原則であり、工学上極めて重要な知見である。

第 3 章では、高周波ヘッド記録磁界の測定技術と測定結果について述べている。従来の電子線トモグラフィ装置の試料ステージに磁気ヘッドの駆動周波数と同期した偏向器を設置し、駆動周波数と同期したストロボ状電子線を使用して電子線の偏向量を測定することで、動的な磁界分布を時間分解能 1 ns 、時間合わせ誤差 0.1 ns で測定できることを実証している。さらに本技術を製品磁気ヘッドの不良解析に適用し、記録信号の位相遅れが生じる原因が磁極磁化の飽和であることを明らかにしている。これは工学上極めて重要な成果である。

第 4 章では、透過型電子顕微鏡の電子線の経路途中に磁気ヘッドを配置し、ヘッドの磁界で歪められた参照像を得て、この歪んだ像を画像処理し、空間の磁界の情報のみを抽出する手法を提案している。本手法により、磁気ヘッドの記録磁界を最小磁界感度 $5 \times 10^{-3} \text{ T}\mu\text{m}$ 、かつ空間分解能 10 nm で測定できる見通しを得ている。本成果は工学上重要な知見である。

第 5 章では、コンピュータ・トモグラフィ処理に必要な磁界の投影データが電子線信号情報の中で特に偏向角成分であることを述べており、この情報を分析する画像処理法としてトラッキング法が有効であることを示している。本知見は工学上重要な成果である。

第 6 章では、以上の成果に基づいて開発した投射電子線磁界トモグラフィ装置の性能を評価し、従来の収束電子線を用いる方法では不可能であったヘッド表面から 50 nm の領域での記録磁界分布の測定が可能であることを示している。これは工学上極めて重要な成果である。

第 7 章は、結論である。

以上要するに本論文は、次世代大容量磁気記録装置用磁気ヘッドの発生磁界の過渡応答測定を最小 10 nm の空間分解能で可能とする投射電子線磁界トモグラフィ装置を開発し、ヘッド先端磁界分布の可視化を実現したものであり、ナノメカニクス及び機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。